レーダーチャート方式による発声機能表示法の試み

愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：柳原尚明教授）

河村 裕二, 丘村 熙, 湯本 英二

MULTIPARAMETRIC DISPLAY OF VOCAL DYSFUNCTION : USE OF RADAR CHART

YUJI KAWAMURA, M.D., HIROSHI OKAMURA, M.D. and
EIJI YUMOTO, M.D.

Department of Otolaryngology, School of Medicine, Ehime University, Ehime

The authors proposed a new method of the multiparametric display of vocal function using a radar chart. The purpose is to visualize the degree and feature of vocal dysfunction in various laryngeal diseases. The parameters analyzed were the fundamental frequency (F_0), intensity of the voice, the transglottic air flow rate (F.R.) and AC/DC ratio of the expiratory air flow, which were simultaneously recorded during phonation of the vowel /a/ in the following five different fashions: easy, high-loud, high-soft low-loud and low-soft. The radar chart for easy phonation consists of four axes (F_0 , Intensity, F.R. and AC/DC ratio) arranged rectangularly, and the scales were determined to give a regular square for normal subjects. The radar charts for high and low pitched voices consist of six axes (F.R. and AC/DC ratio of loud and soft voices respectively, F_0 and Intensity), and the scales were determined to give a regular hexagon for normal subjects.

The new display was valuable for investigating the degree and feature of vocal dysfunction and for judging therapeutic effects.

Key words: 発声機能検査, 無関位発声, 負荷発声, レーダーチャート

A89-0448-60092

はじめに

音声障害の定量的評価法として発声時の空気力学的検査が行われる。この検査では音声や空気力学的パラメーターの同時測定の有用性が認められてきた。特に近年、これらパラメーターが簡単に同時測定できる機器が開発され、各施設で盛んにデータの収集とその解析が行われているのが現状である。かようにデータが簡単に得られるようになったのは大きな進歩であるが、反面、発声機能障害の病態把握を容易にするデータの表示法あるいは記載法については統一されたものはない。

著者らはかかる意味から声の基本周波数、強さ、発声時平均呼気流率、声門気流能率指数（以下 AC/DC 比）¹⁾ の 4 つのパラメーターを組み合わせたレーダーチャート方式によるパターン表示法を考案したの

で²⁾、その概要を紹介すると共に、その有用性について検討を加え報告する。

方 法

1. 装置と測定法

使用した機種は Phonation Analyzer（ミナト社製、PA-500）である。座位で Phonation Analyzer に装着したマウスピース（円筒、内径 25 mm）をくわえさせ、後述の各種発声条件下で声の基本周波数（ F_0 ）、強さ（I）、発声時平均呼気流率（F.R.）、AC/DC 比の同時測定を行った。音圧測定用のマイクロホンはマウスピース開放端より 20 cm の距離においた。測定に際して被験者の緊張を解き、信頼性のあるデータを得るために、数回発声練習を行わせ、マウスピース周辺よりの息もれがないことを十分確認して検査を行った。

2. 対象と発声条件

対象は喉頭および肺疾患の既往のない成人男性 38 名 (23~33 歳) と女性 22 名 (20~31 歳) からなる正

表 1 対 象

疾患	性別	男 性	女 性
		(例)	(例)
声帯ポリープ		4	15
ポリープ様声帯		5	1
声帯結節		2	6
反回神経麻痺		4	6
機能的音声障害		1	4
声帯腫瘍		5	0
喉頭外傷		1	1
他		4	3
		26	36

常群と、各種の音声障害を有する男性 26 名 (18~79 歳)、女性 36 名 (15~65 歳) からなる疾患群であった。なお疾患別の内訳は表 1 に示した。

発声には母音/ア/を用い、①無関位、②高く強い、③高く弱い、④低く強い、⑤低く弱い、の 5 種類の異なる条件で持続発声させ、安定した状態での測定値をとった。高・低はその間 1 オクターブ、強・弱はその差が 10 dB となるように指導した。

3. レーダーチャート記載法

著者らの考案したレーダーチャートを図 1 に示した。上段が男性用、下段が女性用である。図内点線が正常者平均値、帯になった部分が正常者の母平均 95% 信頼区間で、各々のデータは今回検討した正常群より得られた数値である。男女とも i) 無関位発声、ii) 高調発声、iii) 低調発声の 3 つのレーダーチャートに分けて記載する。i) は 4 つの軸にそれぞれ声の基本周波

i) 無関位発声

ii) 高調発声

iii) 低調発声

i) 無関位発声

ii) 高調発声

iii) 低調発声

図 1 レーダーチャート図

上段は男性用、下段は女性用。点線は正常群より得られた平均値、帯はその母平均 95% 区間

数, 強さ, 発声時平均呼気流量, AC/DC 比をとる. ii) は高調発声で左側に強発声, 右側に弱発声での発声時平均呼気流量, AC/DC 比をプロットする. 低い声に対する高い声の基本周波数の比を F_0 比と称し, 強発声での比を縦軸上方の左側に, 弱発声での比を右側に記載する. そのため軸の左右で F_0 比が違ふことがある. 下方の軸の Intensity 差とは高調発声での強発声と弱発声の音圧の差を表わす. iii) は ii) と同様で, Intensity 差のみ低調発声での音圧の差になる. ところで発声時平均呼気流量は無関位発声では 100~150 ml/sec, 弱い声では, これがせいぜい 50 ml/sec までの低下にとどまるのに反し, 強い声では 1000 ml/sec まで上昇することが稀ではなく, その分布は明らかに非対称である. 対数変換によってこの分布はより対称になるため, 発声時平均呼気流量は対数目盛で表示した³⁾.

正常者は i) では正方形となるようスケールが調節されており, 発声の能率が悪くなれば図形は小さく内方に移動する. ii), iii) では, 正常者は正六角形となるように工夫してあるが, 声の高さ, 強さの調節能力が悪ければ上下に圧され, 発声の能率が低下すると左右から圧された図形となる.

結 果

1. 発声条件の検討

正常群および疾患群の各種発声条件下での F_0 比, 強さの差を一括して図 2 に示した.

正常群での声の基本周波数, 強さ, 発声時平均呼気流量, AC/DC 比の平均値, 及び各データが t -分布に従うと仮定した時の母平均 95% 信頼区間を表 2 に示している.

表 2 正常者群各種パラメーターの平均値と母平均 95% 信頼区間

男 性		無関位	高 強	高 弱	低 強	低 弱
基本周波数 (Hz)	平均値	136	257	253	125	113
	母平均 95% 信頼区間	129~143	244~270	240~265	119~130	108~118
強 さ (dB)	平均値	74.8	85.3	72.7	79.2	69.6
	母平均 95% 信頼区間	74~76	84~87	72~74	78~80	69~70
AC/DC 比 (%)	平均値	49.3	54.1	36.0	56.1	35.8
	母平均 95% 信頼区間	45~53	51~56	31~41	53~59	31~41
平均呼気流量 (ml/sec)	平均値	124	272	112	189	117
	母平均 95% 信頼区間	102~150	229~323	89~143	157~229	100~138
女 性		無関位	高 強	高 弱	低 強	低 弱
基本周波数 (Hz)	平均値	243	408	411	211	195
	母平均 95% 信頼区間	230~256	371~444	376~446	201~222	185~205
強 さ (dB)	平均値	74.3	80.1	69.7	77.7	69.0
	母平均 95% 信頼区間	73~76	79~81	69~71	77~79	68~70
AC/DC 比 (%)	平均値	41.9	33.9	18.2	52.1	26.1
	母平均 95% 信頼区間	37~46	29~39	15~22	49~55	22~30
平均呼気流量 (ml/sec)	平均値	93	142	82	116	82
	母平均 95% 信頼区間	80~108	114~176	69~98	99~137	68~99

高い声と低い声はその間1オクターブ、すなわち F_0 比が2、強い声と弱い声の差が10 dB となるように指導したが、数人の検者が検査を行ったことを勧告し、 F_0 比1.8以上、強さの差8 dB 以上の発声条件を満たしたのについて検討してみると次のようになる。

正常群では女性の強発声の F_0 比と、低調発声での強さの差を除けば、被検者の95%以上が上記の発声条件を満たしていた。

男性はすべての負荷発声において胸声区での発声が可能であった。声の高さに関係なく弱発声でAC/DC比は低く、強発声で高くなっており、その変化分は声の高さに関係なくほぼ一定であった。発声時平均呼気流量は声の高さに関係なく、弱発声により強発声の方が大きいとその変化分は高音域でより大きくなっている。このことは、従来より考えられているように、声の強さの制御が低調発声では、laryngeal dominant、高調発声では expiratory effort dominant であることを支持する結果となっている^{4)~6)}。

女性では、聴覚的に高調発声は多くの例が頭声区で発声しており、胸声区での1オクターブの変換が男性よりも困難であった。その結果、AC/DC比は特に高調発声で男性に比して低かった。したがって女性で声区の転換ができず、頭声区での発声が不能な音声障害者では、著者らの指導した「高く強い声」で正常者よりもAC/DC比が高くなることがある。発声時平均呼気流量は男性と同様弱発声よりも強発声の方が大きい、男性ほどその変化は顕著でない。これは先にも述べたように、発声様式の違いが加味されているためと考えられる。

一方、疾患群で上記の発声条件を満たしたものは、 F_0 比では男性の強発声で42%、弱発声で57%、女性ではそれぞれ41%、48%であり、強さの差では男性の高調発声で77%、低調発声で85%、女性でそれぞれ72%、69%にすぎなかった。

以上のごとく音声障害者では当然の結果ではあるが、声の調節能力、特に声の高さの調節能力が低下していることが明らかにされた。ここに、発声能力を加味したデータの記載法の開発が必要とされる理由がある。その意味で著者らの用いている発声条件は正常者と音声障害者を区別する上で適当であると同時に、 F_0 比、強さの差というパラメーターが喉頭の調節能力を表現する目安の一つになり得ると考えられた。

2. レーダーチャートの使用例

音声障害者の中で本検査法、本記載法により異常が

図2 正常者群および音声障害者群間における F_0 比1.8以上(上段)、Intensity 差8 dB 以上(下段)の負荷発声条件を満たした割合。

より明らかにされた症例、治療効果判定に本法が有用であった代表例を供覧する。

i) 症例1：31歳女性・声帯ポリープ(図3)

無関係発声では概ね正常範囲内であるのに反し、負荷発声では声の高さの調節が障害され、かつ、低調発声でAC/DC比の低下しているのが特徴的である。本例は発声機能を評価する際に無関係発声のみでは不十分であり、負荷発声法ではじめて発声機能の障害を明らかにすることができた代表例である。

ii) 症例2：41歳女性・過緊張性音声障害(図4)

「高い声しか出ない。」という主訴で受診した患者で、無関係発声において著明な基本周波数の上昇と発声時平均呼気流量の増加を認める。負荷発声では F_0 比の低下、高調発声での強さの差の低下、強発声時のAC/DC比の低下、及びすべての発声条件下での発声時平均呼気流量が増加しており、発声機能障害の病態が明瞭で、本症例がいわゆる痙攣性発声障害とは異なることがわかる。

iii) 症例3：60歳男性・挿管性両側反回神経麻痺

初診時(図5上段)では、すべての発声条件で図形が小さくなっている。すなわち、声門閉鎖不全のため発声時平均呼気流量が非常に大きく、AC/DCが低下しており、声の高さを調節する能力も低下している。

i) 無関位発声

ii) 高調発声

iii) 低調発声

図3 症例1(声帯ポリープ)のレーダーチャート図

i) 無関位発声

ii) 高調発声

iii) 低調発声

図4 症例2(過緊張性音声障害)のレーダーチャート図

強さの調節については、呼吸努力で代償されているようにも見えるが、高速気流の影響を受けているものとする。

声帯運動が回復し、声門が完全に閉鎖するようになった時点(図5下段)では、無関位発声での発声時平均呼吸流量、AC/DC比ともにほぼ正常範囲内にある。負荷発声においても、 F_0 比、強さの差、AC/DC比は概ね正常となっている。発声時平均呼吸流量は少し大きくなっているが上段と比較すればその改善が顕著であることが容易に理解できる。

考 察

発声調節に関与するパラメーターの同時測定による研究は特に本邦において以前より精力的になされている。一色ら⁴⁾、柳原ら⁵⁾⁶⁾は、声の基本周波数、強さの調節機構について、発声時平均呼吸流量を示標として検討している。斉藤ら⁷⁾、佐藤ら⁸⁾は phonolaryngo-

gram と称し、上述の三者を同時測定し、その経時的変化(パターン)を検討している。この中で正常群の経時的変化が少ないのに反し、ポリープ様声帯群では三者すべてが漸減傾向にあり、声帯粘膜硬化病変群では呼吸流量のパターンの乱れが大となることを報告している。小宮山ら⁹⁾、渡辺ら¹⁰⁾は phonogram と称し、三者のうち、二要素を連続的に変化させ、その関係のパターン表示法を発表しており、声帯の質的変化、量的変化に応じ phonogram に特徴的な所見を得るとしている。また鯨井ら¹¹⁾は、三者の経時的変化を正常群と疾患群、同一患者の術前と術後で比較している。Kannaeらは、上記のパラメーターの三次元表示法(cubic phonogram)を報告している¹²⁾。いずれの報告も正常群、疾患群ともに同時測定したデータを単に羅列するだけではなくパターンとして発声様式、発声障害の質的量的違いを捉えようとしている。その骨子は数種のパラメーターの数値を一つ一つ読むよりも、例えば聴

i) 無関位発声

ii) 高調発声

iii) 低調発声

i) 無関位発声

ii) 高調発声

iii) 低調発声

図5 症例3(挿管性両側反回神経麻痺)のレーダーチャート図 上段は初診時、下段は声帯運動回復時

覚におけるオーディオグラムのように単純でかつ、視覚に訴えるのが最も理解しやすいからであると考えられる。著者らが考案したレーダーチャートによるパターン表示法も同様の理由によるものであり²⁾、深浦ら¹³⁾によってもその有用性が追試されている。

レーダーチャートは i) 無関位発声, ii) 高調発声, iii) 低調発声に分け記録する。無関位発声(図1)での F_0 軸で被検者の平常時での声の高さを理解し、強さ軸で地声の大きさを判断する。AC/DC比軸で喉頭レベルでの気流の直流より交流成分への変換率を、発声時平均呼気流量軸では声門閉鎖不全の程度を知る。発声時平均呼気流量のみ対数軸で、AC/DC比とともに発声機能が悪ければ、図形は内方に偏るようにした。男性と女性では軸のスケールのとり方が異なるが、これは正常群の平均値を結ぶ図形が正方形になるようにしたためである。高調発声および低調発声のレーダーチャートでは左側に強発声の、右側に弱発声の発声時

平均呼気流量と AC/DC 比を記録する。発声障害の程度が強く、声の高さ、強さを調節する能力が低下すればすべての軸で測定値が内方に記録され、それらを結ぶ図形が小さくなるように配慮した。無関位発声と同様に、負荷発声においても、正常群平均値を正六角形にするために、男性と女性、高調発声と低調発声ですべての軸のとり方を変えている。レーダーチャートの帯の部分は正常群の母平均 95% 信頼区間であり、これは正常範囲というよりも参考範囲と理解すべきであると考えている。

われわれの使用したレーダーチャートの最大の利点は、供覧例でも示したように、 F_0 比、強さの差という喉頭の調節能力の目安を含めた発声機能の状態が前述のように正方形、あるいは正六角形からの歪みとして単純に視覚的にとらえることができる点である。特に無関位発声では同定できない発声障害を負荷発声の導入により、はじめて明らかにされることもあり、レー

ダーチャート記載の有用性があるといえる。また同時測定で得られたデータから F_0 比、強さの差を求める計算をするだけで簡単に図形が描け、コンピューター処理などの複雑な手順が要らないのも利点の一つである。

得られたレーダーチャートは個々の症例の病態把握に関して非常に有用であり、各症例の経時的変化、治療前後の比較、あるいは症例間の比較にも利用できる。したがって、喉頭所見、ストロボスコープ所見、聴覚印象と合わせ、治療効果の判定に一つの定量的データを与えてくれる。

本法の問題点は、時間的要素が含まれていない点である。痙攣性発声障害などは経時変化が重要となる疾患であり、こういった症例では記録紙に基本周波数、強さ、発声時平均呼気流量の経時的変化を記録し、データに添付することが必要である。更に検査上の問題点の一つに胸声区の範囲内での1オクターブの調節が女性では困難であるということが挙げられる。また10 dBの強さの調節をどの音圧レベルで行っているのかという点も問題である。すなわち高調発声で音圧を上げると呼気努力の比重が高くなり、音圧を下げすぎると胸声区から頭声区へ声区が転換されてしまう。経験的には70～85 dB程度の範囲内での音圧の転換が適当であると思われる。

以上、著者らは正常人の無関位、及び負荷発声時の声の基本周波数、強さ、発声時平均呼気流量、AC/DC比の同時測定を行って正常群の参考範囲を設定し、音声障害者の測定結果をレーダーチャート方式で記載する方法を考案した。本法は、発声機能障害の病態をパターン認識することができ、各症例間の比較検討、治療効果の判定など臨床的有用性が高い。

ま と め

1) 正常人で無関位及び高く強い声、高く弱い声、低く強い声、低く弱い声の5種類の異なる条件下で母音／ア／を持続発声させ安定した状態での声の基本周波数、強さ、発声時平均呼気流量、AC/DC比を同時測定し、正常参考範囲を設定した。

2) 負荷発声での F_0 比、強さの差という2つの新しいパラメーターを含め、レーダーチャート方式で音声障害者の同時測定値を記録する方法を考案した。

3) レーダーチャート方式により音声障害者の発声機能の病態の理解が容易になり、また各症例間の比較検討、症例の治療効果判定に有用であった。

参 考 文 献

- 1) 一色信彦, 大川正直: 声の能率に関する理論的背景, 耳鼻臨床 76: 2099-2103, 1983.
- 2) 河村裕二, 湯本英二, 丘村 照: 発声機能検査のパターン表示の試み—第2報—. 音声言語医学 26: 42-43, 1985.
- 3) 垣田有紀, 平野 実: 発声の効率を示す新しいパラメータと表示方法の提案. 音声言語医学 23: 202-210, 1982.
- 4) Isshiki N and von Leden H: Hoarseness; Aerodynamic studies. Arch Otolaryngol 80: 206-213, 1964.
- 5) Yanagihara N and Koike Y: The regulation of sustained phonation. Folia Phoniat 19: 1-18, 1967.
- 6) Yanagihara N, Koike Y and von Leden H: Phonation and respiration. Folia Phoniat 18: 323-340, 1966.
- 7) 齊藤成司 他: 発声時呼気流量, 音声の強さ, 音声の高さの同時測定の試み. 音声言語医学 17: 79, 1976.
- 8) 佐藤 学, 齊藤成司, 福田宏之, 岡本亮二, 牧野克己 他: Phonolaryngogram におけるパタンの評価. 音声言語医学 23: 184-192, 1982.
- 9) 小宮山莊太郎 他: Phonometer の試作, 耳鼻 23: 105-110, 1977.
- 10) 渡辺 宏, 小宮山莊太郎, 金苗修一郎, 笠 誠一: Phonometer SK-80 を用いた音声検査法. 音声言語医学 23: 193-201, 1982.
- 11) 鯨井和朗, 大石公直, 岩村節子, 玉虫 昇, 持松いづみ 他: 最近開発された発声機能検査装置 (PS-77) の使用経験. 音声言語医学 23: 174-183, 1982.
- 12) Kannae S et al: Three dimensional data processing of mean flow rate, fundamental frequency and intensity during phonation. —Cubic phonogram—Proceedings of Congress of the IALP: 791-796, 1983.
- 13) 深浦順一, 進 武幹, 渡辺 宏, 富田まり子: 呼気流量・音圧・基本周波数によるレーダーチャートより検討した喉頭疾患の音声機能. 耳鼻 31: 401-407, 1985.

この論文の概要は昭和58年11月第28回、昭和59年11月第29回日本音声言語医学会で報告した。

(原稿受付 昭和60.7.31日)

別刷請求先 〒791-02 愛媛県温泉郡重信町大字志津川

愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室 河村裕二